

ANALISIS SINYAL SEISMIK GUNUNG MERAPI, JAWA TENGAH - INDONESIA MENGUNAKAN METODE ADAPLET (TAPIS ADAPTIF BERBASIS WAVELET)

Agfianto Eko Putra¹, Adi Susanto², Kirbani Sri Brotopuspito³, Jazi Eko Istiyanto⁴

^{1,4}) Program Studi Elektronika & Instrumentasi, Jurusan Fisika, Fakultas MIPA
Universitas Gadjah Mada, Sekip Utara, Yogyakarta 55281
Telp. (0274) 902382 – email: agfi@ugm.ac.id

²) Jurusan Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Gadjah Mada, Yogyakarta 55281

³) Program Studi Geofisika, Jurusan Fisika, Fakultas MIPA
Universitas Gadjah Mada, Sekip Utara, Yogyakarta 55281

Abstrak

Telah dikembangkan suatu metode analisis sinyal non-stasioner, khususnya sinyal seismik Gunung Merapi, Jawa Tengah, Indonesia, melalui proses Tapisan Adaptif berbasis Wavelet, yang selanjutnya dinamakan Adaplet. Proses ini diawali dengan melakukan penundaan pada sinyal asli $d(n)$ untuk mendapatkan $x(n)$ yang diumpukan ke tapis adaptif sehingga menghasilkan keluaran $y(n)$. Kemudian keluaran ini dibandingkan dengan masukan sinyal asli $d(n)$, sebagai sinyal yang dikehendaki (*expected signal*) dan selisihnya berupa keluaran ralat $e(n)$ yang kemudian digunakan sebagai tuner untuk memperbaiki kerja tapis adaptif tersebut, sedemikian hingga ralat $e(n)$ bisa mendekati 0 (*nol*).

Hasil untuk data-data seismik vulkanik yang mewakili 3 jenis event yang berbeda menunjukkan adanya pola-pola tertentu, yang ditunjukkan dari plot hingga 4 koefisien polinomial 3-komponen (S_n , S_e dan S_z) dan hubungan antar koefisien yang dinyatakan dalam persamaan garis linear dalam format bentuk $y=ax+b$. Serta pengelompokan (*klaster*) semua koefisien untuk semua tipe memperkuat adanya fitur-fitur khusus pada sinyal yang bersangkutan.

Keywords: Wavelet, Tapis Adaptif, Non-stasioner

1. PENDAHULUAN

Mempelajari perilaku sinyal yang diperoleh dari alam untuk mendapatkan karakter sinyal yang bersangkutan merupakan penelitian yang salah satunya dapat dimanfaatkan untuk mendapatkan model maupun karakter sinyal yang bersangkutan. Selanjutnya dari model maupun karakter tersebut dapat ditarik cara prediksi data, ekstraksi fitur serta analisis maupun proses lanjutan lainnya secara tepat.

Tujuan penelitian ini adalah melakukan studi analisis, termasuk memperoleh fitur-fitur dari sinyal non-stasioner menggunakan metode **Adaplet** (penggabungan Metode Adaptif dan Wavelet yang telah dikenal bersifat novel untuk melakukan proses prediksi linear).

Selain itu tujuan lain dalam penelitian ini adalah pencarian atau perolehan fitur-fitur sinyal yang dianalisis menggunakan metode-metode berbasis wavelet. Hal ini juga dimaksudkan agar dapat memberikan gambaran tentang penggunaan wavelet dalam analisis sinyal non-stasioner serta merancang suatu metode gabungan dari beberapa analisis konvensional dengan basis Wavelet serta sistem prediksi linear (aplikasi Tapis Adaptif) berbasis wavelet untuk menemukan model dan ciri khas dari sinyal yang bersangkutan.

2. TINJAUAN PUSTAKA

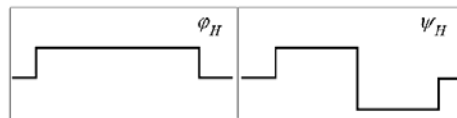
2.1 WAVELET

Wavelet merupakan fungsi matematis yang dapat mewakili data menjadi beberapa komponen frekuensi dan waktu yang berbeda-beda dan hasil analisisnya berupa komponen-komponen dengan resolusi yang sesuai dengan skalanya (Graps, 1995).

Teori Wavelet didasarkan pada analisis komponen-komponen sinyal menggunakan sekumpulan fungsi-fungsi basis (dasar). Salah satu karakter penting fungsi-fungsi basis wavelet tersebut adalah keterkaitan antara satu dengan yang lainnya dengan penskalaan dan translasi yang sederhana. Fungsi wavelet asli, biasa disebut sebagai

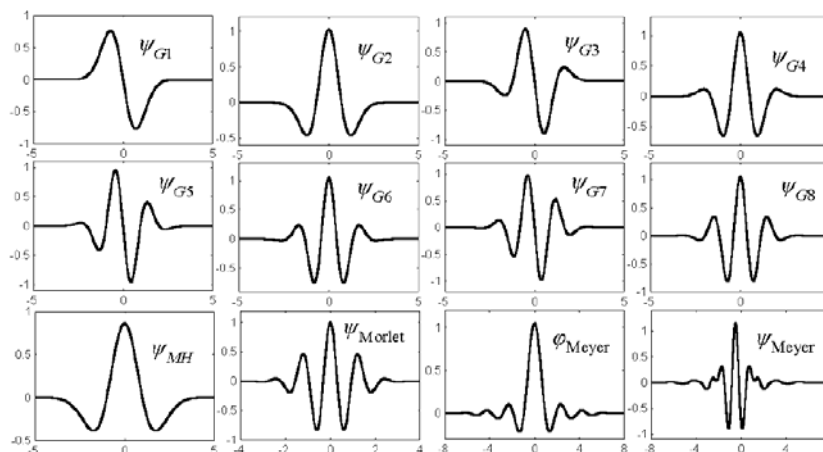
“wavelet induk” atau *mother wavelet*, yang biasanya dirancang berdasar beberapa karakter yang berkaitan dengan fungsi tersebut, digunakan untuk menghasilkan semua fungsi basis turunannya. Secara umum, tujuan kebanyakan riset-riset *wavelet* modern adalah menemukan suatu fungsi *wavelet* ibu atau *mother wavelet* yang akan memberikan deskripsi sinyal yang dianalisis lebih informatif, efisien, dan berguna.

Wavelet paling sederhana, yaitu *Wavelet* Haar, sebagaimana ditunjukkan pada Gambar 1, merupakan satu-satunya *wavelet* ortogonal yang memiliki sifat tapis (*filter*) analisis dan sintesis yang simetris. *Wavelet* ini ideal untuk kondisi saat sumber-daya komputasi sangat terbatas serta cocok untuk pemrosesan citra maupun sinyal-sinyal yang mengandung sifat-sifat transien yang tegas atau kasar (Reza, 1999).



Gambar 1. (Kiri) Fungsi penskalaan Haar dan (kanan) *Wavelet* induk Haar (Reza, 1999)

Wavelet secara umum dapat dikelompokkan kedalam beberapa kelas dengan beberapa macam cara, misalnya, kita dapat menggolongkan berdasarkan durasi atau *support*: *wavelet* dengan *support* tak-hingga (*infinite support wavelet*) dan *wavelet* dengan *support* berhingga (*finite support wavelet*). Ada beberapa *wavelet* dengan *support* tak-hingga yang populer seperti *Wavelet* Gaussian, Mexican Hat, Morlet, dan Meyer, sebagaimana ditunjukkan pada Gambar 2.



Gambar 2. Berbagai macam *Wavelet* Gaussian, Mexican Hat, Morlet dan Meyer (Reza, 1999).

Secara praktis, *wavelet* dengan *support* berhingga dan kompak (*compact*) lebih populer karena berkaitan dengan suatu bank tapis multi-resolusi (*multiresolution filter bank*). *Wavelet-wavelet* ini memiliki watak sebagai tapis *wavelet* dengan tanggapan impuls berhingga (FIR – *Finite Impulse Response*). *Wavelet* jenis ini masih bisa dikategorikan kedalam dua kelas, yaitu *wavelet* ortogonal dan biortogonal. *Wavelet* ortogonal akan mendekomposisi sinyal ke ruang-ruang sinyal ortogonal yang *well-behaved*. Sedangkan *wavelet* biortogonal lebih kompleks dan didefinisikan berdasar suatu pasangan fungsi *wavelet* dan penskalaan tertentu (Reza, 1999).

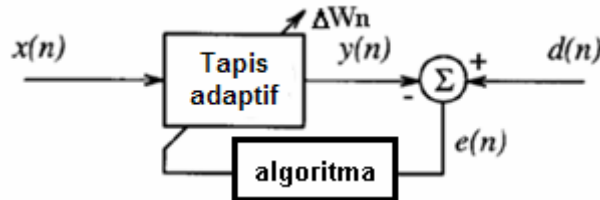
2.2 TAPIS ADAPTIF

Menurut Douglas (1999), tapis adaptif adalah suatu ‘alat’ komputasi yang mampu memodelkan hubungan antara dua sinyal secara *real-time* (waktu nyata) dan secara iteratif (berulang-ulang). Tapis adaptif didefinisikan berdasar empat aspek, yaitu:

- 1) sinyal yang diproses;
- 2) struktur yang menentukan bagaimana sinyal keluaran dihasilkan dari sinyal masukan;
- 3) parameter-parameter di dalam struktur yang dapat diubah secara iteratif untuk mengubah hubungan masukan-keluaran; serta
- 4) algoritma adaptif yang menentukan bagaimana parameter-parameter tersebut diubah dari waktu ke waktu.

Dengan memilih struktur tapis adaptif tertentu, maka perlu juga dipilih berapa dan tipe apa parameter yang akan dilibatkan (yang nilainya bisa berubah-ubah, menyesuaikan sepanjang waktu). Algoritma adaptif digunakan untuk memperbaharui nilai parameter-parameter tersebut juga dipilih sedemikian hingga diperoleh kriteria ralat yang sekecil mungkin, yang merupakan bentuk prosedur optimasi.

Pada Gambar 3 ditunjukkan diagram blok tapis adaptif secara umum dengan masukan tercuplik $x(n)$ yang diumpankan ke tapis adaptif, yang akan melakukan komputasi serta menghasilkan keluaran $y(n)$.



Gambar 3. Permasalahan tapis adaptif secara umum (Douglas, 1999)

Sinyal keluaran $y(n)$ dibandingkan dengan sinyal $d(n)$, yang dinamakan sinyal tanggap yang diinginkan (*desired response signal*), dengan melakukan pengurangan dan dinyatakan dalam persamaan berikut, dengan $e(n)$ dikenal sebagai sinyal ralat (*error signal*)

$$e(n) = d(n) - y(n) \quad (1)$$

Sinyal ralat $e(n)$ ini kemudian diumpankan ke dalam suatu prosedur atau algoritma (kedalam tapis adaptif) yang akan digunakan untuk melakukan penyesuaian atau adaptasi parameter-parameter tapis W_n sepanjang waktu. Seiring dengan waktu, diharapkan sinyal keluaran menjadi lebih baik atau lebih menyerupai sinyal tanggap yang diinginkan $d(n)$, artinya nilai $e(n)$ semakin lama semakin kecil dan mendekati nol (idealnya). Pengertian "baik" disini ditentukan mencakup dalam bentuk algoritma adaptif yang digunakan untuk mengatur parameter-parameter dari tapis adaptif yang bersangkutan (Douglas, 1999).

Parameter-parameter tapis digunakan untuk mengestimasi sinyal yang dikehendaki dengan melakukan konvolusi antara sinyal masukan dan tanggap impuls, yang dalam notasi vektor dinyatakan sebagai

$$\hat{d}(n) = W_n^T * x(n) \quad (2)$$

dengan

$$x(n) = [x(n), x(n-1), \dots, x(n-m)]^T \quad (3)$$

yang merupakan vektor sinyal masukan dan m adalah panjang tapis. Lebih lanjut, mekanisme proses adaptasi akan memperbaharui koefisien tapis sepanjang waktu, sesuai dengan persamaan

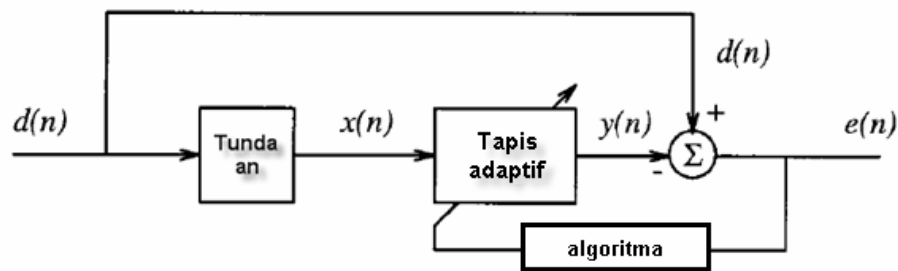
$$W_{n+1} = W_n + \Delta W_n \quad (4)$$

dengan ΔW_n merupakan faktor koreksi untuk koefisien-koefisien tapis. Algoritma adaptif menghasilkan faktor koreksi ini berdasarkan sinyal masukan dan sinyal ralat $e(n)$. Terdapat dua algoritma pembaharuan koefisien yaitu LMS atau *Least Mean Square* dan RLS atau *Recursive Least Square* (Haykin, 2002).

2.3 APLIKASI TAPIS ADAPTIF: PREDIKSI LINEAR

Terdapat beberapa aplikasi tapis adaptif, sedangkan yang digunakan dalam penelitian ini adalah Prediksi Linear, yang diagram blok-nya ditunjukkan pada Gambar 4. Dalam hal ini, sinyal masukan $x(n)$ diperoleh dari sinyal tanggap yang diinginkan $d(n)$ melalui tundaan waktu berikut (Δ merupakan nilai bilangan bulat penundaan).

$$x(n) = d(n - \Delta) \quad (5)$$



Gambar 4. Aplikasi Prediksi Linear (Douglas, 1999)

Dalam hal ini sinyal masukan bertindak sebagai sinyal tanggap yang diinginkan, dengan demikian $d(n)$ selalu tersedia sepanjang waktu. Dalam beberapa kasus, tapis adaptif akan berusaha untuk memprediksi nilai-nilai sinyal berikutnya menggunakan nilai-nilai sebelumnya, sehingga diberi nama prediksi linear (Douglas, 1999).

Penggabungan Tapis Adaptif dan *Wavelet* (**Adaplet**) berdasarkan aplikasi prediksi linear, sebagaimana diagram bloknya ditunjukkan pada Gambar 2, diawali dengan menggunakan *Wavelet* tertentu sebagai inisialisasi tapis adaptif. Data hasil tundaan yang kemudian ditapis, dibandingkan dengan data asli (sebagai data sinyal tanggapan yang dikehendaki – *desired response signal*), sehingga akan diperoleh ralat $e(n)$.

Selama proses tapisan adaptif akan diperoleh sekumpulan ralat $e(n)$, yang kemudian di-autokorelasi-kan sehingga akan membentuk kurve yang memiliki koefisien-koefisien polinomial. Koefisien-koefisien polinomial ini yang kemudian digunakan sebagai 'model' untuk sinyal yang diamati, hal ini berkaitan dengan pola-pola ranah waktu yang terdapat pada sinyal yang bersangkutan. Selain itu, koefisien pada tipe-tipe sinyal tertentu bisa dibandingkan sehingga diperoleh persamaan linear garis $y=ax+b$ yang merupakan fitur sinyal yang bersangkutan.

3. METODOLOGI PENELITIAN

Proses Adaplet mengikuti diagram blok sebagaimana ditunjukkan pada Gambar 4. Diawali dengan melakukan penundaan pada sinyal asli $d(n)$ untuk mendapatkan $x(n)$ yang diumpankan ke tapis adaptif sehingga menghasilkan keluaran $y(n)$, kemudian keluaran ini dibandingkan dengan masukan sinyal asli $d(n)$, sebagai sinyal yang dikehendaki (*expected signal*) yang akhirnya menghasilkan keluaran ralat $e(n)$ yang kemudian digunakan sebagai *tuner* untuk tapis adaptif yang bersangkutan, sedemikian hingga ralat $e(n)$ bisa mendekati 0 (nol).

Parameter-parameter yang digunakan dalam proses Adaplet secara keseluruhan adalah:

- Tiga sinyal atau vektor sinyal dalam ranah waktu yang akan diproses Adaplet sekaligus dibandingkan.
- Jumlah atau banyak data yang digunakan untuk mem-plot hasil autokorelasi ralat $e(n)$.
- Nilai μ untuk ukuran langkah dalam algoritma NLMS (*Normalized LMS*).
- Koefisien awal proses Adaplet, *default*-nya berupa koefisien nol, sedangkan dalam penelitian digunakan koefisien dari Tapis Wavelet Coiflet-5 (penyesuaian untuk jenis sinyal seismik).

Sedangkan untuk proses konstruksi tapis adaptif digunakan parameter jumlah koefisien tapis adaptif awal, μ serta nilai-nilai awal koefisien.

Hasil autokorelasi kemudian diplot dan menggunakan metode *Cubic Smoothing Spline* atau disingkat CSS dicari empat koefisien polinomialnya yang pertama (koefisien ke-1, 2, 3 dan 4). Metode ini membutuhkan parameter-parameter yaitu: data x dan y yang masing-masing merupakan hasil autokorelasi dalam ranah waktu, serta parameter penghalusan p .

Spline penghalusan atau *Smoothing Spline* f dikonstruksikan untuk parameter penghalusan p dan bobot w_i tertentu. *Spline* penghalusan meminimalkan persamaan berikut

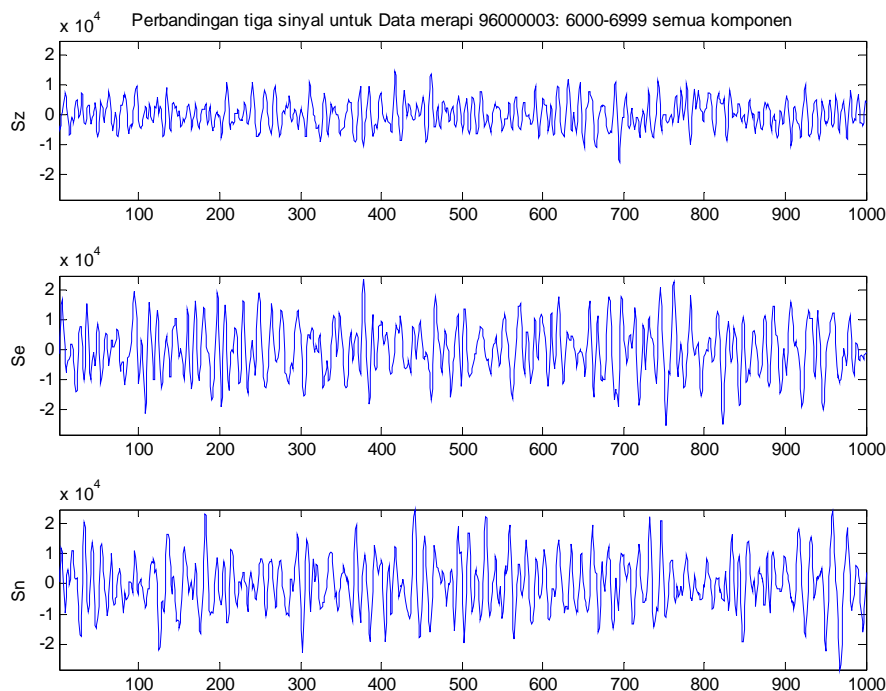
$$p \sum_i w_i (x_i - f(x_i))^2 + (1 - p) \int \left(\frac{d^2 f}{dx^2} \right)^2 dx \quad (6)$$

Jika bobot tidak dinyatakan, maka nilainya dianggap 1 (satu) untuk semua titik data. Parameter p didefinisikan antara 0 dan 1. Jika $p = 0$ maka akan dihasilkan sebuah garis lurus kuadrat terkecil (*least square*), sedangkan jika $p = 1$ maka dihasilkan sebuah garis interpolan *spline* kubik (*cubic spline interpolant*). Jangkauan yang

menarik adalah p biasanya di sekitar $\frac{1}{h}$ dengan parameter h sebagai spasi rerata antar titik-titik data dan biasanya lebih kecil dari parameter yang diperbolehkan (Applied Math. Sciences, 2001). Contoh hasil proses atau Analisis Adaplet menggunakan Wavelet Coiflet-5 ditunjukkan pada Gambar 5, 6 dan 7.

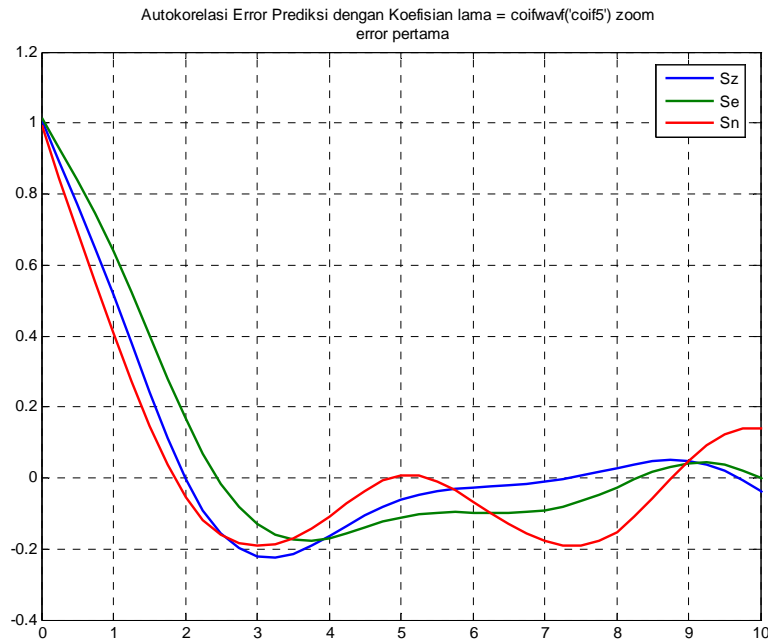
Nilai rerata absolut dari koefisien polinomial				
Autokorelasi ralat $e(n)$ sbb.:				
Komponen Sz :				
x =				
	0.0269	0.0587	0.1757	0.2088
Komponen Se :				
y =				
	0.0258	0.0596	0.1598	0.2487
Komponen Sn :				
z =				
	0.0376	0.0833	0.2168	0.2212

Gambar 5. Contoh Hasil Komputasi nilai rerata koefisien polinom autokorelasi



Gambar 6. Tiga sinyal asli untuk Sz, Se, dan Sn

Analisis dengan Metode Adaplet menggunakan 3 macam sinyal-sinyal seismik Gunung Merapi, yang masing-masing mewakili 3 *event* yang berbeda, untuk melihat pola-pola tertentu berkaitan dengan aktivitas seismik vulkanik.



Gambar 7. Contoh Plot Autokorelasi Error $e(n)$

4. HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 SINYAL TIPE-1

Sebagaimana ditunjukkan pada Tabel 1, untuk 9 contoh sinyal Tipe-1, rerata koefisien polinomial hasil Adaplet dari 3 komponen data (Sz, Sn dan Se) untuk koefisien-1, 2, 3, dan 4 masing-masing adalah 0,0568, 0,1008, 0,1472, dan 0,1343 dengan standar deviasi masing-masing sebesar 0,00457, 0,0061, 0,00421, 0,00379 atau berkisar antara 0,3% hingga 0,6%. Artinya untuk sinyal dengan tipe yang sama, maka hasil masing-masing 4 koefisien polinomial prediksi linear menggunakan Adaplet atau Adaptif berbasis *Wavelet* adalah sama atau serupa.

Tabel 1. Rerata koefisien polinomial 3 komponen sinyal Tipe-1

komp	polinomial (rerata)			
	koef1	koef2	koef3	koef4
s1	0,0608	0,1035	0,1440	0,1322
s2	0,0502	0,0915	0,1465	0,1336
s3	0,0527	0,0978	0,1558	0,1356
s4	0,0569	0,1012	0,1441	0,1318
s5	0,0518	0,0928	0,1421	0,1438
s6	0,0555	0,0993	0,1467	0,1346
s7	0,0605	0,1066	0,1484	0,1321
s8	0,0634	0,1096	0,1513	0,1323
s9	0,0593	0,1048	0,1459	0,1325
sd	0,00457	0,0061	0,00421	0,00379
rerata	0,0568	0,1008	0,1472	0,1343

KESIMPULAN UNTUK SINYAL TIPE-1

Berdasarkan pengamatan dan pembahasan yang dilakukan dapat disimpulkan bahwa untuk sinyal-sinyal yang memiliki kemiripan dengan Tipe-1 memiliki koefisien-1, 2, 3 dan 4 dari Adaplet yang sama, sebagaimana ditunjukkan pada Tabel 2.

Tabel 2. Rerata koefisien polinomial sinyal Tipe-1

Komponen	Koefisien-1	Koefisien-2	Koefisien-3	Koefisien-4
Semua komponen	0,0568 ± 0,0046	0,1008 ± 0,0061	0,1472 ± 0,0042	0,1343 ± 0,0038
Komponen Sz	0,0552 ± 0,0096	0,0996 ± 0,0126	0,1477 ± 0,0090	0,1404 ± 0,0111
Komponen Se	0,0539 ± 0,0044	0,0975 ± 0,0058	0,1473 ± 0,0025	0,1318 ± 0,0021
Komponen Sn	0,0613 ± 0,0054	0,1052 ± 0,0071	0,1466 ± 0,0030	0,1306 ± 0,0017

4.2 SINYAL TIPE-2

Sinyal Tipe-2 memiliki pola yang berbeda dengan Sinyal Tipe-1. Rerata koefisien 1, 2, 3 dan 4 untuk 3 komponen sinyal tipe ini masing-masing adalah 0,0187, 0,0375, 0,1449, dan 0,2029 dengan standar deviasi berkisar antara 0,12% hingga 0,70%, sebagaimana data selengkapnya ditunjukkan pada Tabel 3.

KESIMPULAN UNTUK SINYAL TIPE-2

Berdasarkan pengamatan dan pembahasan yang dilakukan dapat disimpulkan bahwa untuk sinyal-sinyal yang memiliki kemiripan dengan Tipe-2 memiliki koefisien-1, 2, 3, dan 4 dari Adaplet yang sama, sebagaimana ditunjukkan pada Tabel 4.

Tabel 3. Rerata koefisien polinomial 3 komponen sinyal Tipe-2

komp	polinomial (rerata)			
	koef1	koef2	koef3	koef4
s1	0,0174	0,0357	0,1454	0,2122
s2	0,0186	0,0393	0,1450	0,2074
s3	0,0185	0,0396	0,1438	0,2090
s4	0,0212	0,0435	0,1504	0,2039
s5	0,0188	0,0356	0,1446	0,1974
s6	0,0196	0,0346	0,1424	0,1906
s7	0,0177	0,0369	0,1458	0,2036
s8	0,0176	0,0347	0,1416	0,1990
rerata	0,0187	0,0375	0,1449	0,2029
sd	0,0012	0,0031	0,0027	0,0070

Tabel 4. Rerata koefisien plinomial sinyal Tipe-2

Komponen	Koefisien-1	Koefisien-2	Koefisien-3	Koefisien-4
Semua komponen	0,0187 ± 0,0012	0,0375 ± 0,0031	0,1449 ± 0,0027	0,2029 ± 0,0070
Komponen Sz	0,0208 ± 0,0021	0,0396 ± 0,0040	0,1460 ± 0,0031	0,1893 ± 0,0079
Komponen Se	0,0165 ± 0,0015	0,0352 ± 0,0048	0,1417 ± 0,0027	0,2131 ± 0,0080
Komponen Sn	0,0187 ± 0,0015	0,0377 ± 0,0024	0,1470 ± 0,0048	0,2063 ± 0,0118

4.3 SINYAL TIPE-3

Sinyal Tipe-3 ini juga berbeda polanya dengan dua tipe sinyal sebelumnya, berdasarkan Tabel 5, rerata koefisien 1, 2, 3, dan 4 masing-masing sebesar 0,0631, 0,1075, 0,1484, dan 0,1274 dengan standar deviasi antara 0,14% hingga 0,57%.

Tabel 5. Rerata koefisien polinomial 3 komponen sinyal Tipe-3

komp	polinomial (rerata)			
	koef1	koef2	koef3	koef4
s1	0,0654	0,1113	0,1479	0,1270
s2	0,0565	0,1009	0,1479	0,1279
s3	0,0588	0,1005	0,1464	0,1287
s4	0,0658	0,1133	0,1517	0,1279
s5	0,0684	0,1120	0,1483	0,1249
s6	0,0639	0,1072	0,1479	0,1282
rerata	0,0631	0,1075	0,1484	0,1274
sd	0,0045	0,0057	0,0018	0,0014

KESIMPULAN UNTUK SINYAL TIPE-3

Berdasarkan pengamatan dan pembahasan yang dilakukan dapat disimpulkan bahwa untuk sinyal-sinyal yang memiliki kemiripan dengan Tipe-3 memiliki koefisien-1, 2, 3, dan 4 dari Adaplet yang sama, sebagaimana ditunjukkan pada Tabel 6.

Tabel 6. Rerata koefisien polinomial sinyal Tipe-3

Komponen	Koefisien-1	Koefisien-2	Koefisien-3	Koefisien-4
Semua komponen	0,0631 ± 0,0045	0,1075 ± 0,0057	0,1484 ± 0,0018	0,1274 ± 0,0014
Komponen Sz	0,0620 ± 0,0050	0,1065 ± 0,0059	0,1486 ± 0,0022	0,1270 ± 0,0020
Komponen Se	0,0607 ± 0,0055	0,1050 ± 0,0062	0,1471 ± 0,0020	0,1284 ± 0,0014
Komponen Sn	0,0667 ± 0,0062	0,1111 ± 0,0102	0,1494 ± 0,0075	0,1269 ± 0,0012

4.4 PERBANDINGAN ANTAR KOEFISIEN SEMUA TIPE

Rangkuman Korelasi dari tiap-tiap perbandingan Koefisien masing-masing ditunjukkan pada Tabel 7 sampai dengan Tabel 12. Tipe-1 memiliki hubungan atau relasi yang kuat antara Koefisien-1 dan 2 (nilai akar MSE-nya 0,0013), sedangkan Tipe-2 antara Koefisien-2 dan 3 (nilai akar MSE-nya 0,0015) dan Tipe-3 antara Koefisien-1 dan 4 (nilai akar MSE-nya 0,0009, lebih kecil dari kedua tipe sebelumnya).

Tabel 7. Rangkuman Korelasi Koefisien-1 vs. Koefisien-2 Semua Tipe Sinyal

Tipe Sinyal	Gradien	MSE	Akar MSE
Tipe-1	1,2968	$1,7939 \times 10^{-6}$	0,0013
Tipe-2	1,5994	$4,8664 \times 10^{-6}$	0,0022
Tipe-3	1,1772	$2,9594 \times 10^{-6}$	0,0017

Tabel 8. Rangkuman Korelasi Koefisien-1 vs. Koefisien-3 Semua Tipe Sinyal

Tipe Sinyal	Gradien	MSE	Akar MSE
Tipe-1	0,0639	$15,535 \times 10^{-6}$	0,0039
Tipe-2	1,2488	$4,0723 \times 10^{-6}$	0,0020
Tipe-3	0,1813	$2,0395 \times 10^{-6}$	0,0014

Tabel 9. Rangkuman Korelasi Koefisien-1 vs. Koefisien-4 Semua Tipe Sinyal

Tipe Sinyal	Gradien	MSE	Akar MSE
Tipe-1	-0,4988	$8,2006 \times 10^{-6}$	0,0029
Tipe-2	-1,7515	$38,550 \times 10^{-6}$	0,0062
Tipe-3	-0,2039	$0,8225 \times 10^{-6}$	0,0009

Tabel 10. Rangkuman Korelasi Koefisien-2 vs. Koefisien-3 Semua Tipe Sinyal

Tipe Sinyal	Gradien	MSE	Akar MSE
Tipe-1	0,1695	$14,665 \times 10^{-6}$	0,0038
Tipe-2	0,6927	$2,1940 \times 10^{-6}$	0,0015
Tipe-3	0,2128	$1,3913 \times 10^{-6}$	0,0012

Tabel 11. Rangkuman Korelasi Koefisien-2 vs. Koefisien-4 Semua Tipe Sinyal

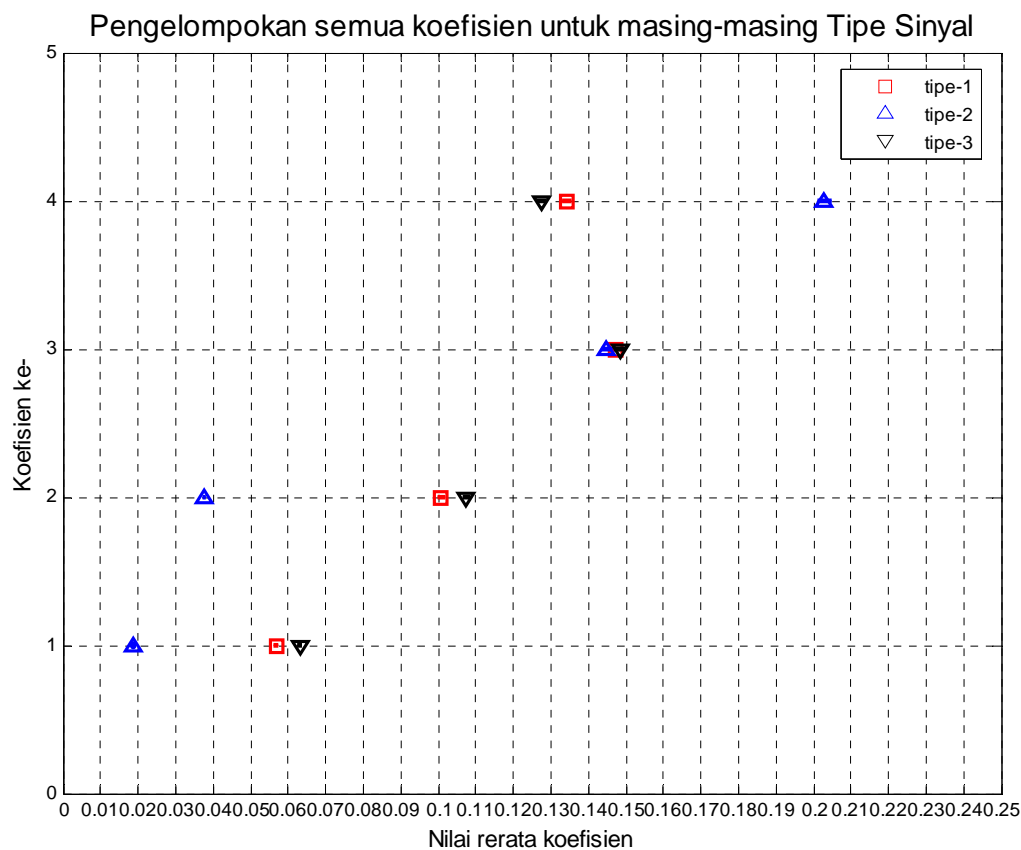
Tipe Sinyal	Gradien	MSE	Akar MSE
Tipe-1	-0,3985	$7,5778 \times 10^{-6}$	0,0028
Tipe-2	0,9952	$34,465 \times 10^{-6}$	0,0059
Tipe-3	-0,1399	$1,0140 \times 10^{-6}$	0,0010

Tabel 12. Rangkuman Korelasi Koefisien-3 vs. Koefisien-4 Semua Tipe Sinyal

Tipe Sinyal	Gradien	MSE	Akar MSE
Tipe-1	-0,4045	$10,252 \times 10^{-6}$	0,0032
Tipe-2	1,3447	$31,527 \times 10^{-6}$	0,0056
Tipe-3	-0,0729	$1,5250 \times 10^{-6}$	0,0012

4.5 PENGELOMPOKAN (KLASTER) SEMUA KOEFISIEN DAN SEMUA TIPE

Sebagaimana ditunjukkan pada Gambar 8. Hasil plot pengelompokan atau klaster dari semua koefisien untuk semua tipe menunjukkan adanya pengelompokan untuk masing-masing koefisien (1, 2, 3, dan 4). Koefisien-1 untuk Tipe-2 di sekitar 0,02, sedangkan untuk Tipe-1 ada di sebelah kiri garis 0,06 sedangkan Tipe-3 ada di sebelah kananya. Demikian juga untuk Koefisien-2 dan Koefisien-3 masing-masing tipe memiliki ciri khas tersendiri, untuk Tipe-2 masing-masing di sekitar 0,04 dan 0,20, sedangkan Tipe-1 dan Tipe-3 masih saling berdekatan tetapi tidak saling bersinggungan. Hal yang menarik justru pada Koefisien-3, karena untuk semua tipe berada dalam jangkauan yang saling berdekatan, yaitu sekitar 0,145. Dengan demikian hasil plot ini bisa menguatkan hasil-hasil sebelumnya, bahwa dengan Metode Adaplet bisa dilakukan pencairan fitur-fitur khusus sinyal non-stasioner yang bersangkutan (seismik Gunung Merapi, Jawa Tengah – Indonesia).



Gambar 8. Plot pengelompokan semua koefisien dan semua tipe

5. KESIMPULAN

Penggunaan **Metode Adaplet** memungkinkan analisis pola-pola kuantitatif dengan memperhatikan parameter koefisien-koefisien polinomial model sinyal untuk tipe-tipe sinyal non-stasioner dengan pola visual tertentu, hal ini dibuktikan dengan hasil eksperimen untuk 3 (tiga) macam jenis *event* sinyal yang memberikan koefisien-koefisien polinomial, relasi antar koefisien ralat prediksi maupun pengelompokan (klaster) koefisien-koefisien secara khusus.

6. DAFTAR PUSTAKA

- Applied Math. Sciences, 2001, A Practical Guide to Splines, Springer Verlag, New York.
 Douglas, S.C., 1999, *Introduction to Adaptive Filters*, Digital Signal Processing Handbook, CRC Press.
 Graps, A., 1995, *An Introduction to Wavelets*, IEEE Computational Science and Engineering, vol.2, num.2, IEEE Computer Society, Los Alamitos – CA, USA.
 Haykin, S., 2002, *Adaptive Filter Theory*, Prentice Hall.
 Haykin, S dan Widrow, B. (editor), 2003, *Least-Mean-Square Adaptive Filters*, John-Wiley & Sons.
 Reza, A. M., 1999, *Wavelet Characteristics, What Wavelet Should I Use?*, Xilinx Inc.,